

**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE LITHOBATES CATESBEIANUS
EN LA REGIÓN CONTINENTAL DE COLOMBIA BAJO ITERACIONES DE
CAMBIO CLIMÁTICO**



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

AUTOR

JOHN ALEJANDRO BONILLA FORERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

Director:

FELIPE RIAÑO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ, JUNIO 14 DE 2017**

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE LITHOBATES CATESBEIANUS EN LA REGIÓN CONTINENTAL DE COLOMBIA BAJO ITERACIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

POTENTIAL DISTRIBUTION OF LITHOBATES CATESBEIANUS IN COLOMBIAN CONTINENTAL REGION UNDER CLIMATE CHANGE ITERATIONS

John Alejandro Bonilla Forero

Ingeniero Catastral y Geodesta.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Candidato a Especialista en Geomática. Universidad Militar Nueva Granada.

Bogotá, Colombia.

u3101431@unimilitar.edu.co

alejokey@gmail.com

RESUMEN

La presencia de especies exóticas invasoras corresponde a uno de los principales motores de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, debido a los efectos adversos que pueden llegar a tener en los ecosistemas naturales. Colombia es un país megadiverso, considerado uno de los países con más riqueza de especies a nivel mundial (segundo en especies de anfibios), por lo que es altamente vulnerable al tipo de dinámicas y efectos nocivos que conlleva la invasión de una especie foránea. La rana toro (*Lithobates catesbeianus*), es una especie invasora reportada para el país desde 1980, introducida inicialmente en Caldas, desde donde comenzó su dispersión. Para el presente estudio con un fin geoestadístico, se definió un set de datos de registro de presencia de la especie en el país, variables climáticas y DEM, con lo que utilizando el software MaxEnt pudo realizarse un modelo de distribución potencial actual, y la distribución futura en modelos globales de circulación. Entre los resultados principales se pudo observar que, para el escenario actual, las áreas de piedemonte de los valles interandinos son especialmente óptimas para el establecimiento de la especie, tanto en probabilidad de presencia como en idoneidad de hábitat. En los escenarios a futuro se pudo observar que si bien la especie parece restringir su distribución a las áreas actualmente ocupadas y alrededores, existe una alta vulnerabilidad de invasión en zonas de alta importancia biológica como las zonas bajas de la Sierra Nevada de Santa Marta, el sur de la Orinoquia y el piedemonte andino-amazónico.

Palabras clave: *Lithobates catesbeianus*; cambio climático; Rana Toro; MaxEnt; modelo de distribución de especies.

ABSTRACT

The presence of invasive alien species corresponds to one of the main drivers of biodiversity loss worldwide, due to the adverse effects they can have on natural ecosystems. Colombia is a megadiverse country, considered one of the countries with the richest species worldwide (second in amphibian species), therefore it is highly vulnerable to the type of dynamics and harmful effects that the invasion of a foreign species entails. The bullfrog (*Lithobates catesbeianus*), is an invasive species reported for the country since 1980, initially introduced in the department of Caldas, from where it began to spread. For the present study with a geostatistical purpose, a set of data was defined to record the presence of the species in the country, climatic variables and DEM (Digital Elevation Model), using the MaxEnt software, a current potential distribution model could be realized, and future distribution in global circulation models. Among the main results it was observed that, for the current scenario, the foothill areas of the inter-Andean valleys are especially optimal for the establishment of the species, both in probability of presence and in habitat suitability. In future scenarios it could be observed that although the species seems to restrict its distribution to the currently occupied and surrounding areas, there is a high vulnerability of invasion in areas of high biological importance such as the low areas of the Sierra Nevada de Santa Marta, the south of the Orinoquia and the Andean Amazon basin.

Keywords: *Lithobates catesbeianus*; climate change; bullfrog; MaxEnt; species distribution models.

INTRODUCCIÓN

Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas, la dispersión de especies exóticas invasoras corresponde a uno de los principales motores de pérdida de biodiversidad, principalmente por efecto del declive y extinción que tienen sobre especies nativas, y las redes tróficas que llegan a intervenir. De otra parte, el efecto invasivo de ciertas especies exóticas puede verse intensificado a causa del cambio climático, la destrucción de hábitats y la contaminación, generando un efecto sinérgico sobre los ecosistemas.

Colombia es un país megadiverso en donde de acuerdo con el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt, se registran 803 especies de anfibios (367 de estas endémicas), siendo el segundo país a nivel mundial en riqueza de estos animales. En el caso específico de los anfibios, el efecto de la presencia e invasión de especies exóticas se ve potenciado por las condiciones de rareza y endemismo de las especies, causando efectos deletéreos en las redes tróficas, y el declive (e incluso extinción) de poblaciones locales.

Uno de los casos de invasión de especies exóticas de mayor relevancia en Colombia corresponde a la introducción de la Rana toro (*Lithobates catesbeianus*), de la cual se ha reportado presencia desde 1986 [1]. Entre los aspectos y efectos más documentados sobre esta especie se encuentran una alta resistencia a ambientes contaminados, tasas altas de reproducción, longevidad prolongada, adaptabilidad a amplios rangos de temperatura y altitud, una competencia ventajosa frente a las demás especies con las que interactúa y la diseminación de enfermedades a otros anfibios; por lo que representa un factor de amenaza

importante en los hábitats que coloniza [2]. Dicha situación incrementa el efecto nocivo de *Lithobates catesbeianus* en el contexto nacional, por lo que el conocimiento de su distribución actual y potencial bajo escenarios de cambio climático puede llegar a ser una herramienta de toma de decisiones para prevenir su colonización sobre nuevos hábitats actualmente no ocupados.

De otra parte, el uso de modelos de distribución de especies exóticas invasoras en escenarios potenciales de cambio global (incluido cambio climático o cambio de hábitats), ha permitido determinar los patrones de colonización y establecimiento, dando información clave para la generación de alertas tempranas y medidas preventivas para hacer frente a su proliferación y colonización de hábitats no ocupados actualmente [2-3-4].

De acuerdo con Mateo et al. [5], los modelos de distribución de especies se han generalizado como una herramienta de análisis para determinar los patrones de presencia de especies, a partir de la integración de procesos estadísticos y cartográficos. Los primeros estudios referentes a la modelación de distribución de especies en relación con variables pueden remontarse a los 60, aunque el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica proporcionó una herramienta para realizar procesos geográficos de mayor rigurosidad. Es así como se registran los primeros estudios desde la rama de la biogeografía [6], y desde la ecología del paisaje como el desarrollado por Franklin en 1995 [7] quien elaboró un modelo geográfico integrando distintas variables biofísicas para determinar la presencia de coberturas vegetales a lo largo de un gradiente paisajístico. La aplicación de estas herramientas en el campo de estudio tanto de especies exóticas invasoras como de efectos de cambio climático tomó fuerza a inicios del siglo XXI [8- 9-10-11-12].

Por último, para Colombia se han desarrollado numerosos estudios donde se aplican modelos de distribución de especies, incluidas investigaciones orientadas a especies exóticas invasoras. Para el caso de *Lithobates catesbeianus* se encuentran específicamente investigaciones encaminadas a establecer las áreas vulnerables a ser invadidas [1], y la distribución actual y futura en escenarios de cambio climático calculados con modelos de circulación global vigentes para el año 2010 [4], estableciendo líneas de acción a escala de las corporaciones autónomas regionales.

Teniendo en cuenta que actualmente se cuenta con otros modelos de circulación global (o cambio climático) ajustados a las condiciones recientes, y bases de datos nacionales que proporcionan información a escala de país, el actual estudio pretende generar información gráfica y estadística desde una escala espacial y temporal diferente a las utilizadas en otras investigaciones similares, buscando la generación de información técnica para soportar conceptualmente el establecimiento de medidas que hagan frente a esta problemática nacional.

De esta manera, el presente estudio busca determinar la distribución potencial de *Lithobates catesbeianus* para Colombia con base en la información disponible en el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB) y en Global Biodiversity Information Facility (GBIF), mediante la elaboración de modelos de distribución actuales y bajo escenarios de cambio climático. Para esto se busca, establecer la distribución potencial de *Lithobates catesbeianus* con base en los datos actuales disponibles para variables climáticas y presencia registrada de la especie a nivel nacional, y posteriormente analizar la distribución potencial de la

especie en el territorio nacional bajo condiciones de hábitat favorables analizadas en escenarios de cambio climático.

De acuerdo con la problemática anteriormente planteada una modelación bajo parámetros recientes puede ser útil para comparar como han cambiado los escenarios de distribución potencial resultantes de otros estudios anteriores, y aportar al conocimiento de los patrones de invasión de *Lithobates catesbeianus* en el país, como herramienta para el manejo de la misma.

1. MATERIALES Y METODOS

1.1. LOCALIDADES DE PRESENCIA DE LITHOBATES CATESBEIANUS

Se utilizaron registros de *Lithobates catesbeianus*, obtenidos del Sistema de información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia) y bases de datos internacionales de biodiversidad GBIF (Global Biodiversity Information Facility), en formato WGS 84 (World Geodetic System 1984) para el territorio continental colombiano, espacio geográfico delimitado para el desarrollo del proyecto. Esta información fue descargada y depurada, evitando la redundancia de datos y verificando la consistencia espacial de los mismos. En total se escogieron 184 datos para un periodo temporal de 28 años (1991 – 2018), que pueden observarse en la **Figura 1**.

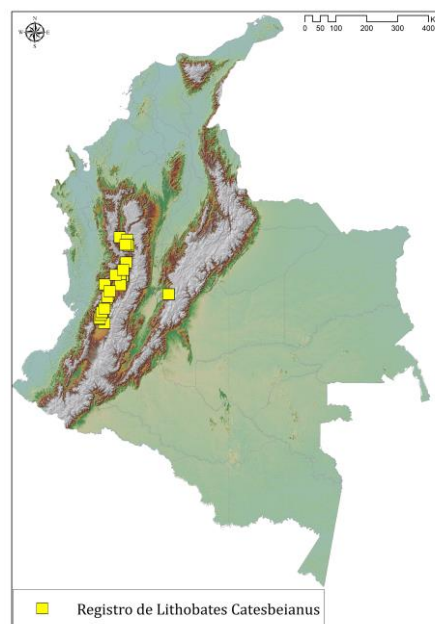


Figura 1 Puntos de observación y registro de la rana toro en Colombia.

Fuente: Elaboración propia (datos del SiB y GBIF)

1.2. DATOS CLIMÁTICOS

Las variables climáticas utilizadas para la generación del modelado espacial corresponden a un conjunto de capas climáticas globales, con una resolución espacial de 30 segundos de arco en el Ecuador terrestre (que equivale a un pixel de 1 km por 1 km), disponible en la plataforma WorldClim (<https://www.worldclim.org>).

Dichas variables bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables determinantes en modelos ecológicos que requieran este tipo de información, como los modelos de distribución de especies. Las variables bioclimáticas representan tendencias anuales (temperatura media anual, precipitación anual), estacionales (rango anual de temperatura y precipitación), y factores ambientales extremos o limitantes (temperatura del mes más frío y más cálido, o la precipitación en el mes más húmedo o en el trimestre secos). Las variables utilizadas pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1 Variables climáticas utilizadas

Código	Variable	Condición
BIO1	Temperatura media anual	Tendencia
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura	Tendencia
BIO3	Isotermalidad	Tendencia
BIO4	Estacionalidad térmica	Estacional
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	Extrema
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	Extrema
BIO7	Oscilación anual de la temperatura	Tendencia
BIO8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo	Estacional
BIO9	Temperatura promedio del trimestre más seco	Estacional
BIO10	Temperatura promedio del trimestre más cálido	Estacional
BIO11	Temperatura promedio del trimestre más frío	Estacional
BIO12	Precipitación anual	Tendencia
BIO13	Precipitación del mes más húmedo	Extrema
BIO14	Precipitación del mes más seco	Extrema
BIO15	Estacionalidad de la precipitación	Extrema
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo	Extrema
BIO17	Precipitación del trimestre más seco	Extrema
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	Extrema
BIO19	Precipitación del trimestre más frío	Extrema

Fuente: WorldClim, 2019

Para el escenario actual se utilizó la información disponible en la Versión 2.0, que agrupa información del promedio de variabilidad climática de los años 1970-2000 [13]. De otra parte para el modelo potencial, se descargaron los datos para los escenarios RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 (Figura 2), de los años 2050 (promedio entre 2041 y 2060), y 2070 (promedio entre 2061 y 2080). Estos escenarios representan cuatro proyecciones a 2100, basadas en las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP por sus siglas en inglés), con diferentes niveles de optimismo respecto a los niveles de concentración de gases de efectos invernadero (GEI) alcanzados para tal fecha. La unidad de cambio utilizada entre escenarios corresponde al valor del Forzamiento radiativo (FC), que representa el balance o relación entre la energía entrante y saliente del sistema atmosférico terrestre, que se ha identificado como un indicador potencial del cambio climático [14].

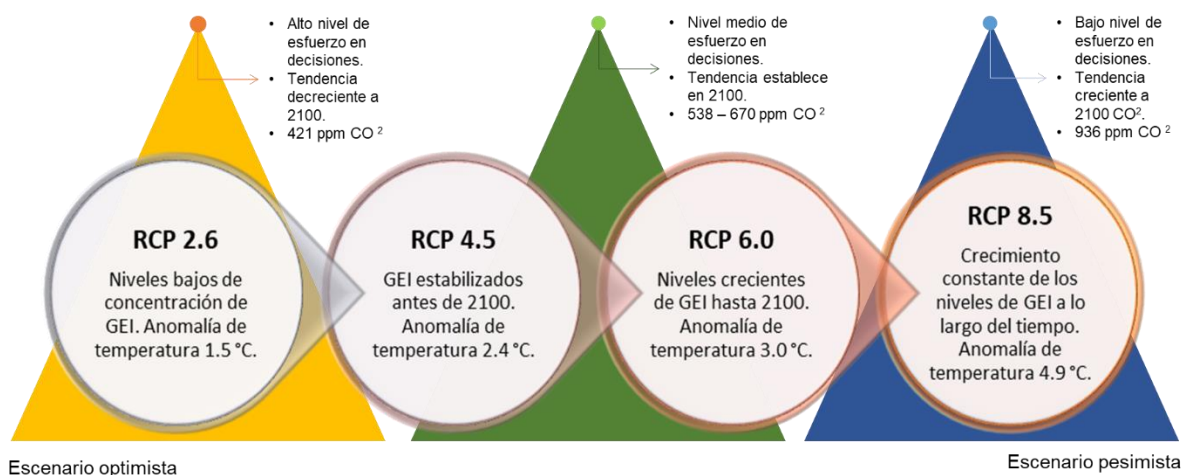


Figura 2 Características generales de los escenarios establecidos a 2100 como respuesta al cambio climático.

Fuente: Elaboración propia

Para los escenarios a futuro se han desarrollado diferentes modelos climáticos globales o modelos de circulación general (MCG), los cuales corresponden a representaciones numéricas tridimensionales de la dinámica atmosférica y de la circulación general en el planeta, buscando representar procesos físicos en la atmósfera, en los océanos, en la criósfera y en la superficie terrestre, base desde la cual se puede simular la respuesta futura del sistema climático global al incremento en la concentración de GEI [15].

La versión actual de WorldClim incluye 19 MCG diferentes, de los cuales se seleccionó para este estudio el modelo “HadGEM2-ES”, desarrollado por Met Office Hadley Center (Reino Unido) y por el Instituto Nacional de Investigación de Espacios (Brasil), que muestra como tendencia general para la región ecuatorial de Suramérica un aumento en las precipitaciones y una disminución en los periodos de verano, en áreas con regímenes estacionales delimitados [16]. Recientemente Schivo y colaboradores utilizaron este MCG para modelar distribución y riqueza de anfibios bajo diferentes escenarios de cambio climático en Brasil [16], por lo que se consideró un MCG idóneo para representar la distribución potencial de *Lithobates catesbeianus* en escenarios futuros.

1.3. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA RANA TORO

Previo a la ejecución del modelo, además de los datos de la especie y las variables climáticas, se preparó la información del DEM a ser incluido en la iteración del modelo, teniendo como puntos fundamentales el relieve y la elevación que presenta el territorio colombiano. Para este fin se utilizó el modelo digital de superficie del sensor ALOS de la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA) con fecha de emisión de abril de 2018 (AW3D30 Versión 2.1), el cual cuenta con una resolución espacial de 30 metros (<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>). Este archivo RASTER debe migrarse a formato .ascii y unificar la resolución espacial con la que traen los archivos de WorldClim.

El software seleccionado para la modelación de la distribución potencial de la especie corresponde a MaxEnt, el cual fue desarrollado por el Centro para la Biodiversidad y Conservación del Museo Americano de Historia Natural (AMNH) por Philips y colaboradores (17-18-19-20). El objetivo principal del software es modelar especies, nichos y distribuciones aplicando el principio de máxima entropía, entendido como una medida de distribución de la probabilidad, en un escenario en su mayoría desconocido. En este sentido, a partir de una sola variable conocida, que corresponde a “Presencia de la especie”, sumado a un conjunto de información ambiental por pixel (por ejemplo información climática o de elevación), MaxEnt genera una distribución de probabilidad con base en la proporción de las características que contiene un pixel, y que lo hacen idóneo o no tiene según las condiciones que requiera la especie.

Una vez se prepara la información a utilizar en el modelamiento, es necesario incrementar la capacidad de memoria del Software MaxEnt en la ventana de comandos (cambiar 1.3 GB que corresponde al máximo valor), debido a la cantidad de datos a modelar. Luego de esto se ejecuta el archivo .jar en la plataforma Java, dando inicio al programa. En la ventana de inicio se debe cargar el archivo .csv en el espacio donde se piden las especies, y la información .ascii en el espacio de capas ambientales (para este caso las 19 variables climáticas y el modelo digital de superficie), deben contar con la misma extensión y resolución espacial (para este caso 30 segundos de arco en el Ecuador). En esta ventana igualmente se deben configurar: 1). El tipo de salida del modelo (Raw o exponencial, Logístico y Acumulativo), que determina la escala de interpretación de los resultados y la salida según el objetivo del modelo; 2). Selección del análisis de la prueba de Jackknife (que evalúa la importancia de cada variable en el modelo); y 3). La ruta de salida donde quedarán guardados los datos.

Para la configuración adicional hay tres pestañas: Básica, Avanzada y Experimental, que vienen con valores por defecto igualmente. Para este caso se modificó: 1). el Porcentaje de prueba aleatorio a 25%, que corresponde al porcentaje de prueba estadística aleatoria de los datos ingresados para evaluar el modelo; 2). se selecciona el número de réplicas, el cual dependerá de las características de los datos modelados, buscando la concordancia con las pruebas estadísticas realizadas y valores adecuados de AUC y ROC, verificando que las muestras para el ejercicio sean estadísticamente confiables.

Cabe mencionar que el mismo procedimiento anteriormente descrito se repite para modelar los escenarios futuros bajo las proyecciones RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, de los años 2050 (promedio entre 2041 y 2060), y 2070 (promedio entre 2061 y 2080).

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados obtenidos una vez desarrollados los métodos, contrastando aquellos resultantes de la modelación del escenario actual de distribución potencial, así como aquellos referentes a la distribución probable en diferentes escenarios de cambio climático, buscando evaluar la vulnerabilidad actual de invasión de la especie, así como el comportamiento esperado bajo distintas proyecciones de cambio climático.

De esta manera, inicialmente se describirá la distribución potencial actual desde las funciones de salida que proporciona MaxEnt, haciendo referencia a las pruebas estadísticas que aplica el software para validar el proceso y dar confianza sobre las estimaciones realizadas. Posteriormente se analizarán los resultados de los escenarios RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, bajo los resultados de distribución potencial e idoneidad de hábitat para 2050 y 2070.

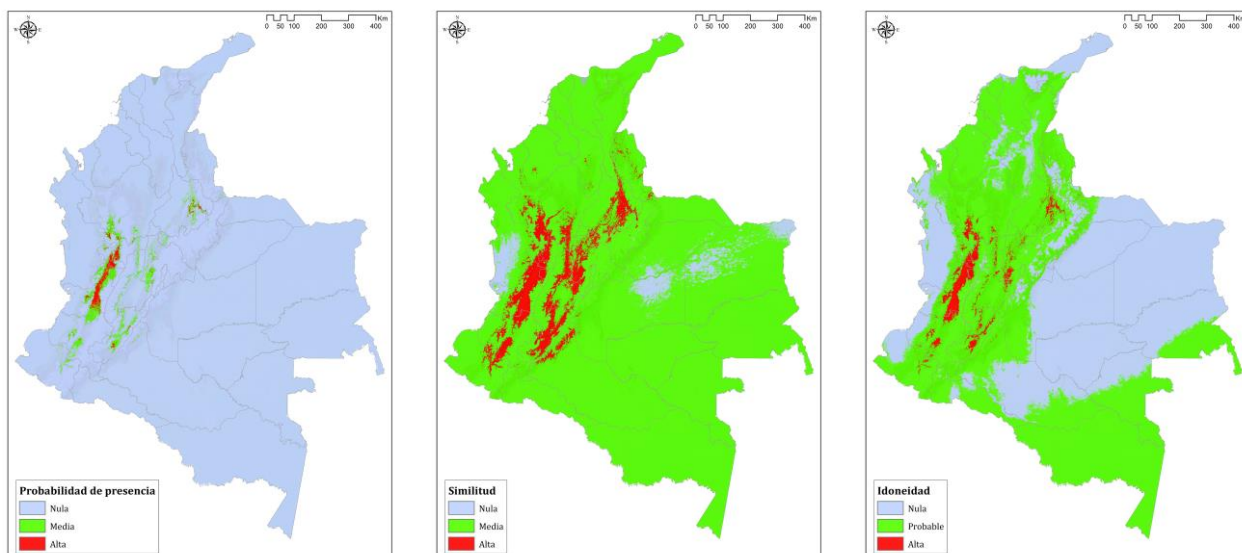
2.1.DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DE LA RANA TORO PARA COLOMBIA

Para el escenario actual, la distribución más probable de *Lithobates catesbeianus* está determinada por la salida logística del modelo (**Figura 3a**), de la cual se puede observar una alta probabilidad de presencia en el área circundante a los puntos actuales con presencia reportada de la especie, sobre los departamentos de Valle del Cauca, Risaralda y Caldas (mayor agregación continua de color rojo sobre el valle del Cauca), así como unas posibles áreas de colonización y mantenimiento de la especie en los departamentos de Antioquia, Cauca, Huila, Cundinamarca y Santander, estos tres últimos sobre el valle del Magdalena, también representados con color rojo en la Figura 2a.

De manera semejante la salida “Raw” al utilizar una función exponencial magnifica los resultados de la probabilidad, proporcionando información sobre la similitud de los píxeles del área de estudio en general frente a los píxeles que tienen un registro, resaltando aquellas áreas donde hay píxeles con las mismas características sin condicionar el resultado con la presencia registrada. Así, los puntos mencionados en el párrafo anterior se ven mayormente resaltados en la **Figura 3b**, así como nuevas áreas agregadas sobre el costado oriental de la cordillera central, y en el departamento de Caquetá sobre el piedemonte; siendo en su conjunto las áreas que actualmente tienen una similitud alta respecto a las localidades donde ha sido reportada la especie.

Paralelamente la salida “Acumulativa” proporciona una condición de “Idoneidad”, entendida como el conjunto de variables que se agrupan en un píxel y que determinan las condiciones fisicobióticas necesarias para que la especie se encuentre allí, indicando que tan favorable es y qué condiciones de hábitat proporciona un píxel para la especie, según los píxeles con registro de presencia. En este sentido las áreas representadas en color rojo corresponden a los espacios que actualmente cuentan con hábitats favorables para la especie (**Figura 3c**), con una alta probabilidad de ser colonizadas en caso de que la especie llegue allí.

Frente a las áreas delimitadas con color verde, estas son relevantes en la medida en que determinan por una parte la vulnerabilidad que tienen otras áreas de ser colonizadas una vez llegasen a contar con las condiciones de idoneidad de hábitat que requiere la especie (**Figura 3c**), junto con la probabilidad media de encontrar la especie en áreas cercanas a las reportadas actualmente (**Figura 3a**).



a. Salida Logística
Estima la probabilidad de presencia de la especie en cada pixel, pero no incluye nueva información sobre la presencia de la especie.

b. Salida Raw o Exponencial
Estima un índice de similitud con los pixeles donde se ha observado la especie.

c. Salida Acumulativa
El formato de salida analizado es el acumulativo (rango de 0 a 100), el cual indica una idoneidad de hábitat relativa de cada píxel. La salida acumulativa puede ser interpretada como una predicción de las condiciones adecuadas para la especie.

Figura 3 Modelos de distribución actual para *Lithobates catesbeianus* en las diferentes salidas generadas por MaxEnt.

Fuente: Modificado de Steven Philips [21].

No obstante para el escenario Raw, casi que la totalidad del territorio continental colombiano se encuentra en la categoría de similitud media, lo cual podría sugerir que la especie podría encontrar allí condiciones semejantes aunque limitantes para su expansión. Sin embargo este patrón puede responder a la manera como MaxEnt extrapola los datos, ya que al no condicionar la distribución a los puntos actuales de presencia de la especie, se puede ver sobredimensionada su distribución potencial, por lo que no se consideró un indicador confiable de vulnerabilidad de expansión.

2.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA EVALUACIÓN DEL MODELO

La confiabilidad del análisis realizado por MaxEnt está dado por el comportamiento de los datos seleccionados en el “porcentaje aleatorio de prueba”, que corresponde al 25% de los datos de entrada. Con estos se realiza un análisis estadístico simple buscando un valor de “p” que determine un nivel de confianza superior al 95%, lo que correspondería a una predicción confiable del análisis realizado. Para este caso MaxEnt proporciona un valor de las variables de entrenamiento y de prueba (colores azul y aguamarina respectivamente Figura 4a), los cuales oscilaron entre 0,037 y 0,074, asumiendo valores por debajo del umbral de aceptación, por lo que los resultados se ubican por debajo de la línea negra. Igualmente se obtuvo un valor de área por debajo de la curva alto ($AUC=0,990$ para entrenamiento y $0,984$ para el test, como puede observarse en la Figura 4b), indicando que los errores de omisión fueron mínimos, lo cual asume como un buen ajuste del modelo resultante.

a

b

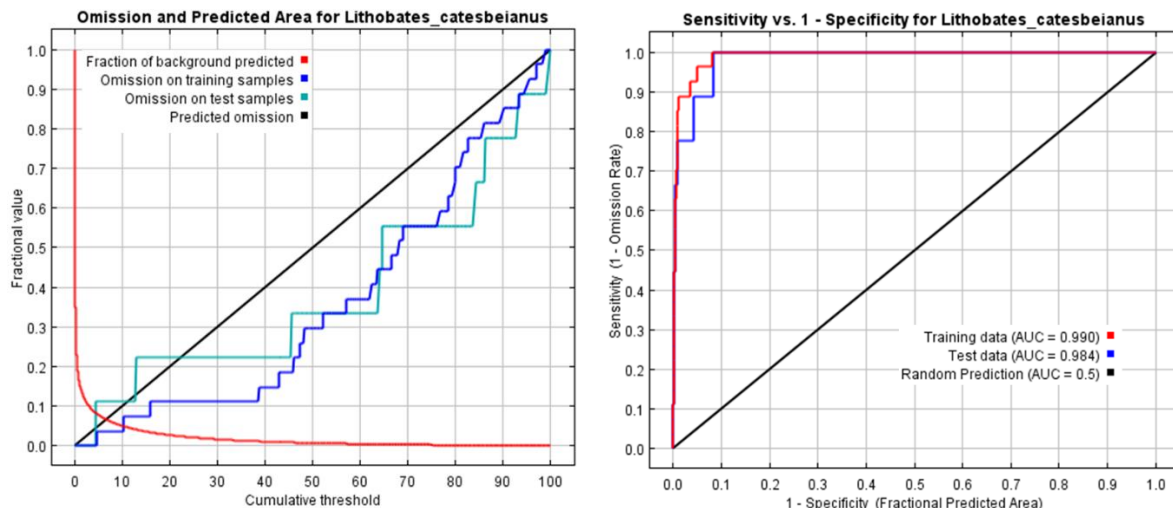


Figura 4 Prueba estadística realizada por MaxEnt para la distribución actual de *Lithobates catesbeianus*

Fuente: MaxEnt

Estos valores son similares a los reportados por otros modelos de distribución de especies en varios estudios de caso trabajados con anfibios y reptiles en centro y Suramérica [16-22-23], y en especial para la Rana toro (Brasil: AUC= 0.917 entrenamiento y 0.960 prueba [3]; Colombia: AUC=0,86 para entrenamiento y 0.842 para prueba [1]). Lo anterior es un indicador positivo en el desempeño del modelo realizado y las variables utilizadas.

2.1.2. ANÁLISIS DE CONTRIBUCIÓN DE VARIABLES

El conjunto de variables de entrada agrupó las variables climáticas y el DEM, alcanzando un total veinte variables contempladas. El análisis de contribución de variables es realizado a partir de la prueba de Jackknife, que corresponde para calcular la contribución relativa de cada variable al modelo. En términos prácticos, el porcentaje de contribución de las variables es un indicador de los requerimientos ecológicos de la especie (para este caso bioclimáticos), que inciden en la probabilidad de presencia o no de la misma [21].

En la Tabla 2 pueden observarse las variables analizadas por el modelo, así como el porcentaje de contribución de las mismas. La contribución acumulada las primeras seis variables es de 92,6%, por lo que se consideran las de mayor importancia en cuanto a los requerimientos de la especie. En este sentido pudo observarse que la elevación sobre el nivel del mar (variable JAXA-Elevación), fue la que aportó mayor información al modelo de manera individual, es decir que contiene en sí misma la información más útil para el modelo.

La variable ambiental con mayor contribución al modelo en conjunto corresponde a Oscilación diurna de la temperatura (BIO2), aunque la variable ambiental que parece tener la mayor información es la BIO 14 (Precipitación del mes más seco), ya que cuando se omite del modelo se pierde mucha información que no está presente en las otras variables. Entre las variables de mayor influencia también se encuentran la Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5), Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16) e Isotermalidad (BIO3) (Tabla 2).

Tabla 2 Contribución de las variables a la distribución actual de *Lithobates catesbeianus*

Variable	Porcentaje de Contribución	Unidades
JAXA-Elevación	43.7	m.s.n.m.
BIO2 - Oscilación diurna de la temperatura	13.6	°C
BIO5 - Temperatura máxima del mes más cálido	12.1	°C
BIO16 - Precipitación del trimestre más húmedo	8	mm
BIO3 - Isotermalidad	7.7	°C
BIO14 - Precipitación del mes más seco	7.5	mm
BIO4 - Estacionalidad térmica	3.3	% (coeficiente de variación)
BIO18 - Precipitación del trimestre más cálido	1.3	mm
BIO19 - Precipitación del trimestre más frío	1.1	mm
BIO6 - Temperatura mínima del mes más frío	0.5	°C
BIO15 - Estacionalidad de la precipitación	0.4	% (coeficiente de variación)
BIO8 - Temperatura promedio del trimestre más húmedo	0.3	°C
BIO12 - Precipitación anual	0.2	mm
BIO1 - Temperatura media anual	0	°C
BIO9 - Temperatura promedio del trimestre más seco	0	°C
BIO11 - Temperatura promedio del trimestre más frío	0	°C
BIO13 - Precipitación del mes más húmedo	0	mm
BIO10 - Temperatura promedio del trimestre más cálido	0	°C
BIO7 - Oscilación anual de la temperatura	0	°C
BIO17 - Precipitación del trimestre más seco	0	mm

Fuente: MaxEnt

En el contexto de análisis de la contribución de variables, los resultados gráficos permiten observar cómo influye la variable en la distribución de *Lithobates catesbeianus*, estableciendo los límites bioclimáticos y altitudinales para la misma, que se traducen en las condiciones de un hábitat favorable para su dispersión (Figura 5). En este sentido pudo observarse que la distribución especie es altamente influenciada por la elevación sobre el nivel del mar siendo más probable su presencia en áreas entre 500 y 2000 m.s.n.m., y una oscilación de temperatura diurna de 3°C (entre 9° y 12°) (BIO2), la cual tiende a ser menor en áreas bajas y húmedas. Para las variables asociadas a factores ambientales extremos, la rana toro puede llegar a ser tolerante a temperaturas entre 18 °C (BIO6) y 30 °C (BIO8), aunque no más de 35 °C (BIO5), así como precipitaciones entre 80mm (BIO14-BIO18) y 1000 mm (BIO16-BIO19), máxima de 1700 (BIO12).

En cuanto a la Isotermalidad (BIO3) oscila entre 85 y 95 (diferencia de 10°C), lo que indica una gran variación térmica, principalmente por la altitud y la presencia de la especie en diferentes pisos térmicos, indicando que la especie tiene flexibilidad para adaptarse a condiciones cambiantes. Por último, las variables de Estacionalidad térmica (BIO4) y Estacionalidad de la precipitación (BIO15), estas variables están sujetas a coeficientes de variación expresados en porcentajes, indicando que la especie 20% y 60% para temperatura, y 30% y 80% para precipitación, siendo la especie más sensible a las condiciones de precipitaciones prolongadas que a cambios de temperatura.

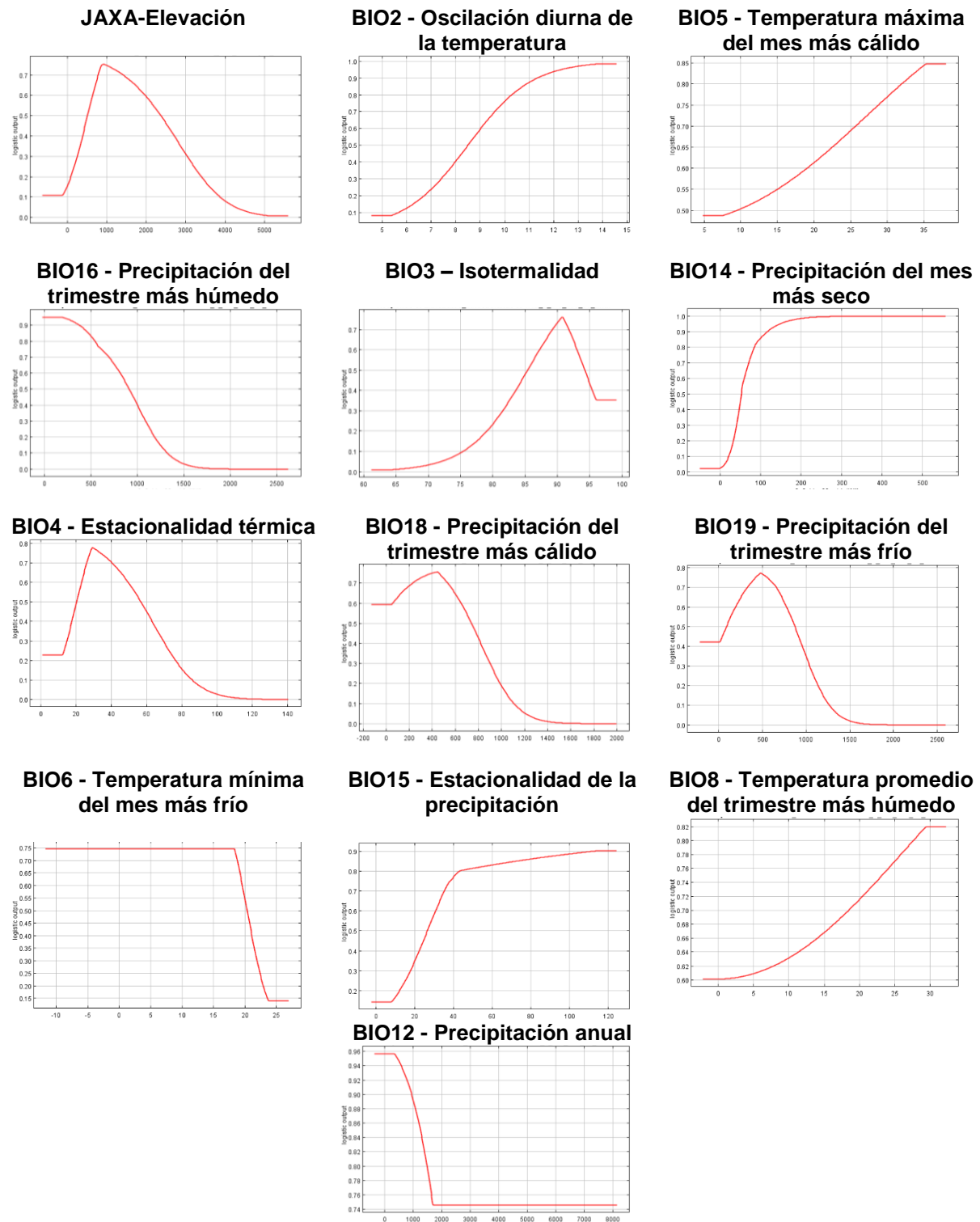


Figura 5 Comportamiento de las variables climáticas condicionantes en la distribución actual de *Lithobates catesbeianus*
Fuente: MaxEnt

Para contrastar los resultados del modelo se realizó la comparación de los datos obtenidos con la descripción de la ecología y biología de *Lithobates catesbeianus* (Figura 6), con lo que se pudo confirmar que los resultados de distribución potencial actual responden de manera acertada a las condiciones ecológicas y requerimientos

de hábitat, por lo que se puede afirmar que la salida logística del modelo (**Figura 3a**) es bastante probable y tiene alto potencial de presencia de la especie.



Figura 6 Características generales de *Lithobates catesbeianus*
Fuente: Global Invasive Species Database (GISD) [24]

2.2.DISTRIBUCIÓN DE LA RANA TORO PARA COLOMBIA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los modelos de distribución potencial en proyecciones de cambio climático para 2050 y 2070 fueron analizados desde las salidas Logística (que proporciona las áreas con alguna probabilidad de presencia), y Acumulativa (que proporciona información sobre las áreas adecuadas o convenientes para la presencia de la especie, es decir la idoneidad de hábitat).

En primera medida, para validar el desempeño de los modelos se verificaron los valores de AUC obtenidos en los escenarios RCP (Tabla 3), con lo que se aceptaron las pruebas realizadas y se obtuvieron valores de confianza para realizar el análisis entre escenarios.

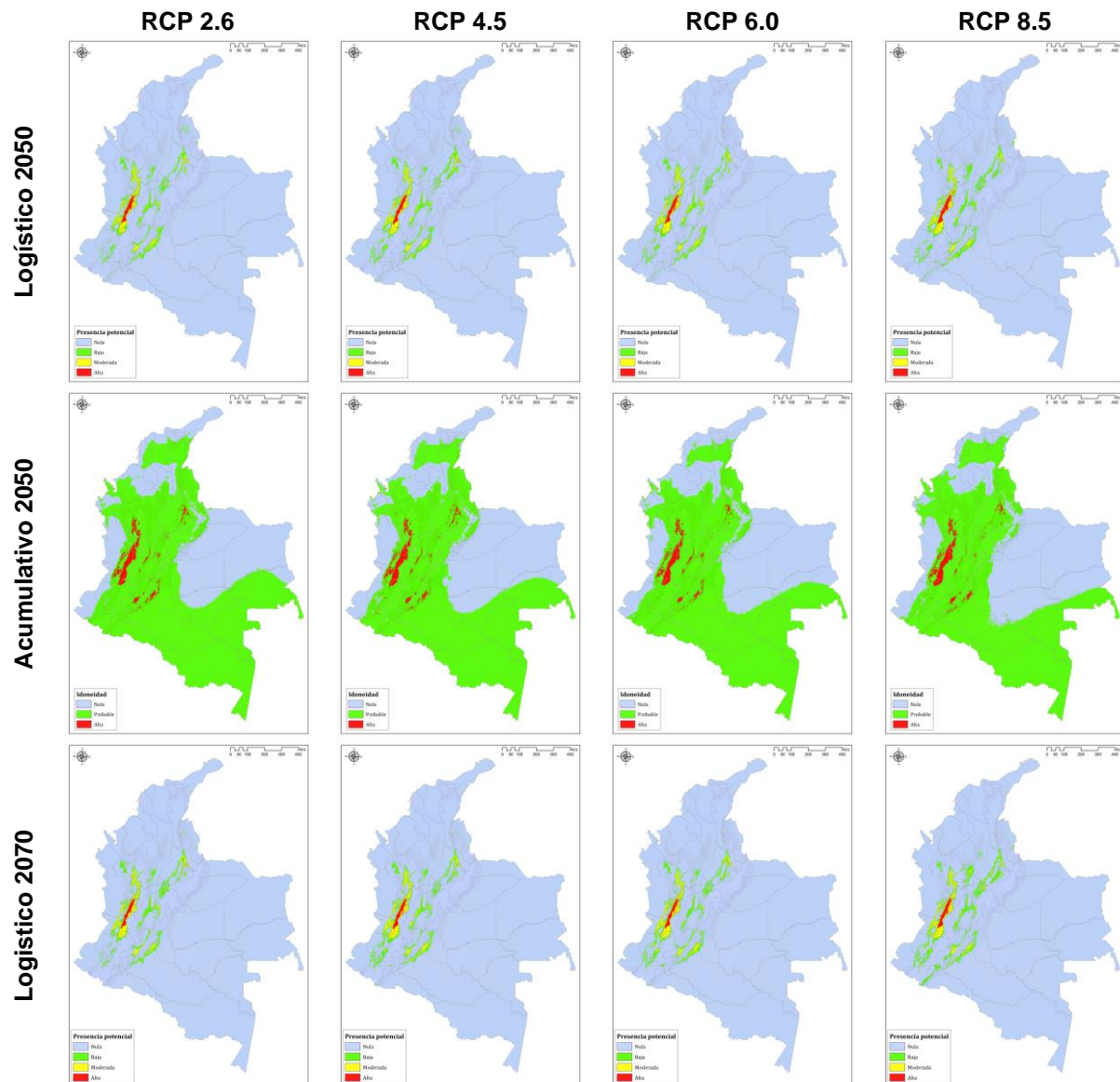
Tabla 3 Valores de AUC para las proyecciones y escenarios analizados.

	2050				2070			
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Prueba	0,986	0,987	0,987	0,986	0,987	0,986	0,987	0,985
Entrenamiento	0,989	0,989	0,989	0,988	0,989	0,988	0,989	0,988

Fuente: MaxEnt

Una vez validada la modelación realizada para las proyecciones de cambio climático, se pudo observar que la distribución potencial en para 2050 y 2070 (filas 1 y 3 de la Figura 7) no presentan cambios significativos entre ellas, aunque si un

incremento en las áreas con potencial medio de presencia, distribuyéndose a lo largo de los valles de Cauca y Magdalena, y agregando como zona potencial nueva el piedemonte oriental de la cordillera oriental sobre los departamentos de Caquetá, Guaviare y Meta, que no se reportan actualmente como áreas de distribución potencial, siendo el principal cambio para la distribución de la especie en los escenarios de cambio climático analizados. Sin embargo no se reportan otros cambios significativos entre los escenarios extremos (optimista (2.6) y pesimista (8.5)).



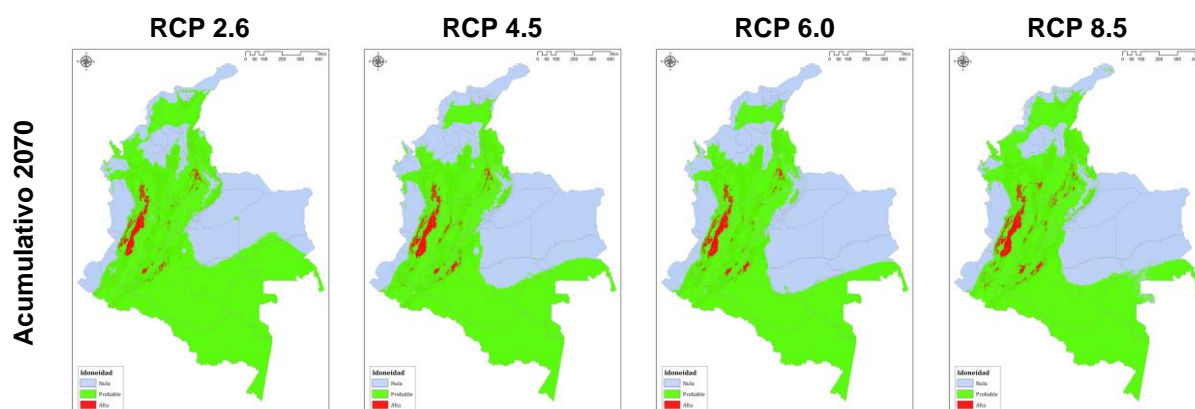


Figura 7 Distribución potencial de *Lithobates catesbeianus* bajo proyecciones de cambio climático a 2050 y 2070
Fuente: MaxEnt

De otra parte, en el análisis de hábitat favorable, relacionado con las salidas acumulativas del modelo (filas 2 y 4 de la Figura 7), para 2050 y 2070 se pudo observar que las condiciones favorables para la especie parecen ser más prósperas durante el escenario más optimista (RCP 2.6), en donde habrían hábitats disponibles en un área mayor comparado con los otros resultados. No obstante cabe mencionar que como patrón general se excluyen como hábitats favorables la región del Chocó biogeográfico, la Guajira, la Orinoquia, y el complejo cenagoso de los ríos Magdalena y Cauca (convergencia).

Bajo los criterios mencionados anteriormente en cuanto los métodos de distribución, el modelo logístico en los 4 escenarios de gas de invernadero para los años 2050 y 2070 se muestra una continuidad de la presencia de la especie en el área donde se ubican los registros de presencia de la especie, por lo que se puede sugerir una resistencia de la especie a través de las condiciones adversas que presenta la concentración de gases de efecto invernadero evidenciándose en el escenario RCP8.5 para 2050 y 2070.

2.2.1. DISTRIBUCIÓN POTENCIAL E IDONEIDAD DE HÁBITAT

En cuanto a las variables climáticas y de elevación analizadas se pudo observar que la variable de elevación (JAXA) es la que contribuye de mayor manera en ambos años y para todos los escenarios, con porcentajes por encima del 40%, tal como ocurrió en el escenario de distribución potencial actual de la especie (Tabla 4). Igualmente la variable JAXA correspondió a la variable con mayor información en todas las pruebas realizadas, puesto que al omitirla se pierde información que no está presente en las otras variables. Además de esta información, en la Tabla 4 se muestran los resultados de las seis variables que más influyen en los resultados por año y por escenario RCP.

Tabla 4 Variables de mayor contribución (prueba de Jackknife) para los escenarios analizados

2050								2070							
2.6		4.5		6.0		8.5		2.6		4.5		6.0		8.5	
JAXA	44	JAXA	43	JAXA	41,7	JAXA	40,7	JAXA	44,2	JAXA	42,9	JAXA	41,5	JAXA	43,7

2050								2070							
2.6		4.5		6.0		8.5		2.6		4.5		6.0		8.5	
BIO2	21	BIO2	24,8	BIO2	21,5	BIO2	26,8	BIO2	19,7	BIO2	21,8	BIO2	22,7	BIO2	24,7
BIO3	9,9	BIO8	11,5	BIO3	11,6	BIO3	10	BIO10	11,1	BIO10	11	BIO10	9,9	BIO3	9,7
BIO5	4,2	BIO16	6,1	BIO10	9,3	BIO10	6,7	BIO3	9,2	BIO3	8	BIO14	7,1	BIO10	9,4
BIO13	3,7	BIO3	4,7	BIO13	4,7	BIO13	4,2	BIO16	5,8	BIO16	6,5	BIO13	6,2	BIO19	4
BIO10	3,3	BIO14	4,1	BIO14	2,1	BIO14	4	BIO14	2,6	BIO14	3,3	BIO3	5,7	BIO14	3,3
BIO8	2,5	BIO13	2,3	BIO15	2	BIO4	2,1	BIO4	1,8	BIO15	1,7	BIO16	3,1	BIO15	1
Porcentaje de contribución total															
88,6		96,5		92,9		94,5		94,4		95,2		96,2		95,8	

Fuente: MaxEnt

Como semejanza entre los escenarios analizados se pudo observar que la variable BIO 2 (Oscilación diurna de la temperatura) es la segunda de mayor contribución al modelo para todos los escenarios analizados, aunque en promedio es mayor para 2050 (Tabla 4). Este resultado se mantiene igual que para la distribución potencial actual (Tabla 2), manteniendo el patrón típico de distribución en áreas bajas y húmedas.

Para 2050 sigue siendo relevante la Isotermalidad como variable de contribución para todos los escenarios exceptuando el RCP 4.5, donde comienza a ser importante la Temperatura promedio del trimestre más húmedo (BIO8), y la Precipitación del mes más seco (BIO 14), posiblemente en respuesta a que en el mismo pueden presentarse temperaturas más adecuadas para la distribución de la especie, lo que se traduce en una mayor condicionalidad de dicha variable sobre la distribución de la especie. La anterior afirmación se ve reforzada además con la presencia de la variable de Temperatura promedio del trimestre más cálido (BIO 10) como una variable que incide en la distribución de la especie en escenarios futuros, que de manera contraria tuvo una contribución de cero (0) en la distribución actual potencial, evidenciando la sensibilidad de la especie frente a mantenimiento de los rangos de temperatura que pueden verse alterados tanto en 2050 como 2070.

De manera similar ocurre con la variable de Precipitación del mes más húmedo (BIO 13), que tuvo una contribución nula para la distribución actual (Tabla 2), pero que en los escenarios futuros parece ser determinante, presentándose como variable representativa en todos los escenarios de 2050. Entre otras variables que tienen representatividad en los escenarios futuros y no en el actual, está la Estacionalidad de la precipitación (BIO 15), presente tanto para 2050 (RCP 6.0) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).

Con estos resultados se puede evidenciar que para los escenarios futuros de 2050 y 2070, proyectados desde el modelo de distribución global “HadGEM2-E”, comienzan a ser limitantes variables relacionadas con características extremas (Temperatura promedio del trimestre más húmedo (BIO8), y la Precipitación del mes más seco (BIO 14) y Temperatura promedio del trimestre más cálido (BIO 10), que no son relevantes para el escenario actual, lo cual puede evidenciarse en que no se presente una distribución potencial mayor en el futuro a pesar de que las áreas con hábitat favorable se mantengan e incluso incrementen (Figura 7).

Gracias al anterior patrón puede afirmarse que para los escenarios de cambio climático analizados, la rana toro permanecerá distribuida de manera más probable a su localización actual y áreas circundantes, casi de manera confinada, independientemente de la disminución o incremento de áreas con hábitat favorable para esta. No obstante, ante una llegada accidental o voluntaria de la especie a regiones como el piedemonte de la cordillera oriental sobre los departamentos de Caquetá, Guaviare, Meta, o a la Sierra Nevada de Santa Marta, se presentaría una alta probabilidad de invasión dado que se presentan áreas con hábitat favorable para la colonización de la especie.

3. CONCLUSIONES

La distribución potencial actual de *Lithobates catesbeianus* tiene en cuenta con un escenario moderado de amenaza o, restringido principalmente por la altitud sobre el nivel del mar (entre 0 y 2000 m.s.n.m.), y por la presencia de áreas húmedas donde se presenten tanto precipitaciones moderadas, como temperaturas máximas de 35 °C en épocas extremas. Dichas condiciones actúan como barrera para la distribución de la especie hacia áreas muy secas, y hacia ecosistemas altoandinos, restringiéndose espacialmente a las zonas de piedemonte de los valles interandinos. No obstante, un área significativa del territorio continental de Colombia cuenta con condiciones de hábitat favorable para la presencia de la especie, por lo que hay una alta vulnerabilidad de invasión en caso de presentarse una llegada accidental o voluntaria de la especie en otros lugares como el piedemonte oriental de la cordillera oriental.

De acuerdo con lo anterior, gracias a la presencia de las cordilleras y los pisos térmicos, la distribución de la rana toro podría verse restringida a las áreas de distribución actual y algunas zonas circundantes con condiciones favorables para su presencia. En este sentido la invasión de la especie es sensible a barreras geográficas como la presencia de las cordilleras occidental, central y oriental, a la región del Chocó biogeográfico, a las áreas de convergencia de los ríos Magdalena y Cauca en los complejos cenagosos del norte del país, a La Guajira, y a las sabanas hiperestacionales de la Orinoquía, tanto en el escenario actual como en las proyecciones de 2050 y 2070.

Los escenarios de cambio climático extremo (RCP 8.5 para 2050 y 2070) no favorecen la invasión de la rana toro e incluso se puede observar una disminución del área con condiciones favorables para su colonización. En los gráficos producidos para la estimación generada en el modelo acumulativo se observa una disminución evidente de las áreas con idoneidad ambiental fuerte para la especie, concluyendo una afectación debido a los parámetros climáticos evidente al comparar el gráfico de RCP 2.6 y RCP 8.5. Con este patrón se prevé que las condiciones climáticas actuarán de manera limitante sobre el potencial de invasión

de la especie, aunque no serán lo suficientemente nocivas para la misma, favoreciendo su permanencia en las áreas actualmente ocupadas y con potencial alto de presencia.

En cuanto al uso de procesos geoestadísticos para el modelamiento de distribución de especies, la utilidad, rapidez y alto procesamiento que ofrecen las tecnologías digitales llevadas a un contexto espacializado permite un sinnúmero de posibles resultados provenientes de procesos más complejos que dependen más del tipo de información primaria y su confiabilidad. No obstante, el Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado adecuadamente, es solamente una parte de un procedimiento, en donde el análisis posterior es el que determina la potencialidad de la información primaria; y el acertado procesamiento de los datos conlleva a una correcta interpretación de los resultados, ofreciendo la capacidad de anticipar posibles escenarios que es el beneficio principal al ejecutar un proceso geográfico.

Es interesante estimar un comportamiento de una especie independiente de las situaciones ambientales por medio de una herramienta cartográfica y compleja, debido a que estimula o desestabiliza conceptos anteriores o crea nuevas ideas para ser valoradas y tenidas en cuenta que podrán desarrollarse y confirmarse basándose a partir del ejercicio geográfico. En esta medida, el procesamiento de información ecológica a través de diferentes herramientas y procesos de análisis espacial tiene un alto potencial para ser utilizado en la generación de información confiable, precisa, detallada y oportuna, necesaria para la formulación de alertas tempranas, prioridades de planeación para la conservación, políticas de manejo de la biodiversidad y otros factores prácticos; además en periodos relativamente cortos, costos bajos y procesos relativamente sencillos.

AGRADECIMIENTOS

Bases de datos de libre acceso consultados para la elaboración del presente documento (GBIF, JAXA, SiB, WorldClim), y software MaxEnt por su disponibilidad en línea, tutoriales y aporte en los estudios de modelamiento de distribución de especies. A mis padres por el apoyo, a Juanito por su energía nuclear, y a Ana con su constante disposición para guiar.

REFERENCIAS

- [1] Urbina-Cardona, J.N., Nori, J. & Castro, F. 2011. Áreas vulnerables a la invasión actual y futura de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*: Ranidae) en Colombia: Estrategias propuestas para su manejo y control. *Revista Biota Colombiana* 12(2):23-34. Volumen Especial de Especies Invasoras en Colombia. ISSN: 0124-5376.
- [2] Loyola, R. D., Nabout, J. C., Trindade Filho, J., Lemes, P., Cardona, J. N. U., Dobrovolski, R. & Diniz Filho, J. A. F. (2012). Climate change might drive species into reserves: a case study of the American bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot.
- [3] Giovanelli, J. G., Haddad, C. F., & Alexandrino, J. (2008). Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions*, 10(5), 585-590.

- [4] Urbina-Cardona, J. N., & Castro, F. (2010). Distribución actual y futura de anfibios y reptiles con potencial invasor en Colombia: una aproximación usando modelos de Nicho Ecológico. *Biodiversidad y Cambio Climático*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 65-72
- [5] Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., & Muñoz, J. (2011). Species distributions models: A synthetic revision. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217-240.
- [6] Nix, H. A. (1986). A biogeographic analysis of the Australian elapid snakes. In: R. Longmore (ed.) *Atlas of elapid snakes*. Australian Flora and Fauna Series No. 7, pp. 4-15.
- [7] Franklin, J. (1995). Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in physical geography*, 19(4), 474-499.
- [8] Kolar, C. S., & Lodge, D. M. (2002). Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science*, 298(5596), 1233-1236.
- [9] Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., & Stockwell, D. R. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416(6881), 626.
- [10] Broennimann, O., Treier, U. A., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A. T., & Guisan, A. (2007). Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology letters*, 10(8), 701-709.
- [11] Fitzpatrick, M. C., Weltzin, J. F., Sanders, N. J., & Dunn, R. R. (2007). The biogeography of prediction error: why does the introduced range of the fire ant over-predict its native range?. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 24-33.
- [12] Richardson, D. M., & Thuiller, W. (2007). Home away from home—objective mapping of high-risk source areas for plant introductions. *Diversity and Distributions*, 13(3), 299-312.
- [13] Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315.
- [14] IPCC. (2007). Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio climático 2007: Base de ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación de IPCC*. [Ed.] Solomon, D., Qin, D., Manning, Z., Marquis, M., Avery, K., Tignor, M. y Miller H. Cambridge, U. K. & N. Y. USA. : Cambridge, University. 114 p.
- [15] Armenta, G., Dorado, J., Rodríguez, O. & Ruiz, J. 2014. Escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM. 274 pp.

- [16] Schivo, F., Bauni, V., Krug, P., & Quintana, R. D. (2019). Distribution and richness of amphibians under different climate change scenarios in a subtropical region of South America. *Applied Geography*, 103, 70-89.
- [17] Phillips, S., Dudík, M., Schapire, R. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2019-5-28.
- [18] Phillips, S., Anderson, R., Dudík, M., Schapire, R., Blair, M. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. In *Ecography*.
- [19] Phillips, S., Anderson, R. & Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190:231-259.
- [20] Phillips, S., Dudík, M. & Schapire, R. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, pages 655-662.
- [21] Steven J. Phillips. 2017. A Brief Tutorial on Maxent. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2019-5-29.
- [22] Becerra-López, J. L., Romero-Méndez, U., Anadón-Herrera, J. D., & García-De La Peña, C. (2014). Modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 523-531.
- [23] Urbina-Cardona, J. N., & Loyola, R. D. (2008). Applying niche-based models to predict endangered-hylid potential distributions: are neotropical protected areas effective enough?. *Tropical Conservation Science*, 1(4), 417-445.
- [24] Global Invasive Species Database (GISD) 2015. Species profile *Lithobates catesbeianus*. Available from: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=80> [Accessed 17 March 2019].

DATOS BIOLÓGICOS

GBIF.org (17 March 2019) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.8tojco>

Pontificia Universidad Javeriana (2015-). Colección de anfibios del Museo de Historia Natural de la Pontificia Universidad Javeriana, 9125 registros, En línea, <http://ipt.sibcolombia.net/sib/resource.do?puj-007-amphibia>, versión 1.0 (actualizado el 22/06/2015).

CVC, Fundación Agua y Paz (2015). Registros biológicos asociados a 18 humedales del valle geográfico del río Cauca, 2075, aportados por Martha Cecilia Salazar (Contacto del recurso, proveedor de los metadatos), Stella Sarria (Creador del Recurso), En línea, <http://ipt.sibcolombia.net/valle/resource.do?r=cvc-003> publicado el 25/03/2015]

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (2015) Estudios bióticos

(Plantas, Fauna Edáfica, Anfibios y Aves) en los Complejos de páramos Guantiva - La Rusia. 21699 registros, aportados por: Marín, C. (Contacto del recurso), Sánchez-Ch, E. C. C. (Creador del recurso, Proveedor de metadatos). Morales-P, M. E. (Editor), Díaz- Pérez, C. (Editor), Gil-Leguizamón, P. (Editor). Versión 2.1. <http://doi.org/10.15472/1wt3q8>

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (2016). Estudios bióticos (Plantas, Fauna Edáfica, Anfibios y Aves) en los Complejos de páramos Tota-Bijagual - Mamapacha. 19653 registros, aportados por: Marín, C. (Contacto del recurso), Sánchez-Ch, E. C. (Creador del recurso, Proveedor de metadatos), Morales-P, M. E. (Editor), Díaz- Pérez, C. N., (Editor), Gil-Leguizamón. P.A. (Editor), Gil-N. J.E. (Editor). Versión 2.1. <http://doi.org/10.15472/r5wz0h>

Fundación Trópico (2014). Creación de un área protegida pública local en los municipios de Roldanillo, La Unión y Toro, 1003 registros, aportados por Burbano-Yandi, C.(Publicador, Proveedor de los Metadatos, Proveedor de Contenido), Llano-Almario, M. (Proveedor de Contenido), Astudillo-V (Proveedor de contenido) y Hernández, C. (Proveedor de los Contenido), En línea, publicado el 22/08/2014

Museo de La Salle - MLS (2011). Colección de Anfibios Museo de La Salle Bogotá (MLS), 1916 Registros, aportados por Espitia-Barrera JE (Publicador, Creador del Recurso, Proveedor de los metadatos), En línea, <http://doi.org/10.15472/imntpn>, Versión 4.1 (última modificación en 03/12/2012)

Escuela de Biología, Universidad Industrial de Santander, 2014. Colección Herpetológica (Anfibios) de la Universidad Industrial de Santander. Registros, aportados por Martha Patricia Ramírez Pinilla (proveedor de contenidos, custodio, proveedor de metadatos) y Mauricio Torres (procesador, publicador, editor). En línea <http://ipt.sibcolombia.net/sib/resource.do?r=uis-003-an> publicado el 13/03/2015

Colección de Herpetología de la Universidad del Valle (2016 -). Colección de anfibios y reptiles del Laboratorio de Herpetología de la Universidad del Valle (UV-C), 6.663 registros, aportados por Castro-Herrera, F. (curador de la colección, contacto del recurso), Salinas, S. (creador del recurso), Valencia-Aguilar, A. (bióloga), Garzón Romero, E. (publicador), Londoño, E. (custodio de los datos). En línea, <http://ipt.sibcolombia.net/valle/resource.do?r=herpetosgorgona>, Versión 13.1 (actualizado el 27/04/2016).

Colección de Herpetología-UQ (2017): Colección de Herpetología, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia. v2.4. Universidad del Quindío. Dataset/Occurrence. <http://doi.org/10.15472/mkjigu>

Museo de Herpetología de la Universidad de Antioquia (2013). Colección de anfibios - Museo de Herpetología de la Universidad de Antioquia. 8195 registros, aportados por Daza-Rojas, J.M. (Publicador), En línea, <http://doi.org/10.15472/zn2bkv>, Versión 7.2. (Última modificación en 28/08/2018)

Calderón M, Lynch J, Raz L, Agudelo H (2018): Colección de Herpetología del Instituto de Ciencias Naturales (ICN-MHN-Her). v1.1. Universidad Nacional de Colombia. Dataset/Occurrence. <https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=icn-mhn-herp&v=1.1>